Aus dem Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. Ernst von Herrath

Über das Vorkommen von intravitalen Kommunikationen zwischen den Pleurahöhlen bei einigen Laboratoriumstieren

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Hans-Peter Heilmann
aus Berlin

1963

Aus dem Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. Ernst von Herrath

ÜBER DAS VORKOMMEN VON INTRAVITALEN KOMMUNIKATIONEN ZWISCHEN DEN PLEURAHÖHLEN BEI EINIGEN LABORATORIUMSTIEREN

INAUGURAL - DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

vorgelegt von
Hans-Peter Heilmann
aus Berlin

Dekan: Professor Dr. med. Bernhard Schmidt

Referent: Professor Dr. med. Hans-Joachim Clemens

Korreferent: Professor Dr. med. vet. Günther Wittke

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 6. 5. 1963

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	5
II. Material und Methoden	6
a) Allgemeines	6
b) Die intrathorakale Druckregistrierung	7
c) Röntgenuntersuchungen	10
III. Befunde	12
IV. Diskussion	18
V. Zusammenfassung	28
VI. Schrifttum	30
Abbildungs-Anhang	33

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548012_0066

I. Einleitung

Die Kenntnis von dem Vorhandensein und dem Sitz intravitaler Kommunikationen zwischen den beiden Pleurahöhlen ist für den experimentell tätigen Mediziner von großer Bedeutung, da er bei Eingriffen im Thorax insbesondere bei kleineren Tieren immer wieder vor die Frage gestellt wird, ob ein entstehender kontralateraler Pneumothorax artifiziell oder durch natürliche Öffnungen bedingt ist (CLEMENS, WILLNOW 1957). Entsprechend muß er seine operative Technik einrichten.

In der vorliegenden Literatur gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen über dieses Thema, Untersuchungsobjekt waren jedoch überwiegend die Haustiere, weniger die Laboratoriumstiere. Bei Pferd und Hund fanden sich dabei regelmäßig mikroskopische Öffnungen im Mediastinum, durch die die beiden Pleurahöhlen miteinander in Verbindung standen [+]. Über das Kaninchen fanden sich fünf Arbeiten [++], über Ratte und Meerschweinchen nur zwei [+++]. Beim Menschen bestehen normalerweise keine Verbindungen zwischen den beiden Pleurahöhlen. Nur in sehr seltenen Fällen sind Mißbildungen [++++] sowie durch T b c entstandene Löcher im Mediastinum beschrieben worden [+++++].

Bei den tierexperimentellen Untersuchungen kamen anatomische und funktionelle Methoden zur Anwendung. Die anatomischen Untersuchungsmethoden überprüften in erster Linie den feingeweblichen Bau von Pleura und Mediastinum. Dem Vorteil dieser Methode, den Sitz der Verbindungsöffnungen genau bestimmen zu können, stehen zwei Nachteile ge-

---

[+] NAVEZ-LAHAYE 1924; AGDUHR 1927; BRECCIA 1913; BOIT 1914; BURCKHARDT 1921; DUVAL 1922 und 1923; VEENENDAAL 1925; SNYDER 1924; TSUNODA 1927; SEIFERT 1928; PALMGREEN 1928.

[++] BRECCIA 1913; BOIT 1914; BURCKHARDT 1921; TSUNODA 1927; SEIFERT 1928.

[+++] TSUNODA 1927; SEIFERT 1928.

[++++] LE WALD 1926; OCHSNER, DE BAKEY und MURRAY 1939; GROSS und LEWIS 1945.

[+++++] GROSS und LEWIS 1945.

genüber: die Unsicherheit, ob die gefundenen Löcher primär, d.h. auch intravital vorhanden waren und nicht erst sekundär durch Sektion, Fixation oder Präparation entstanden sind; zum anderen, daß die Methode nur indirekt darüber Aufschluß gibt, ob es zum kontralateralen Pneumothorax kommt oder nicht. Die Möglichkeit, durch traumatische Artefakte getäuscht zu werden, ist um so größer, je kleiner das Tier ist. Handelt es sich doch bei den bisher beschriebenen Öffnungen um Größenordnungen von Bruchteilen von Millimetern (AGDUHR 1927) ! Es gibt trotz mancher Versuche (NAVEZ und LAHAYE 1924; AGDUHR 1927) keinen eindeutigen Beweis dafür, daß die gefundenen mikroskopischen Öffnungen auch intravital vorhanden waren !

Funktionelle Untersuchungen lassen nur begrenzte Schlüsse über den Sitz von Verbindungen zu. Sie beantworten aber die Frage, ob Luft oder Flüssigkeit von einer Pleurahöhle in die andere gelangen kann, unabhängig von der Größe eines Tieres recht genau. Darüberhinaus sind diese Untersuchungen am lebenden Tier durchführbar und machen daher am ehesten die intravitalen Verhältnisse sichtbar.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, mit verbesserten Untersuchungsmethoden an lebenden Laboratoriumstieren (Ratte, Meerschweinchen und Kaninchen) den Nachweis über das Vorhandensein oder Fehlen von Pleurahöhlenverbindungen zu führen.

II. Material und Methoden

a) Allgemeines

Die eigenen Untersuchungen wurden an lebenden Tieren (57 Albinoratten, 4 Meerschweinchen und 3 Kaninchen) durchgeführt. Für den Eingriff wurden die Tiere mit Äther und Evipan narkotisiert. Die Gewichte der Tiere lagen zwischen

125 - 325 g bei Ratten,
400 - 575 g bei Meerschweinchen und
2000 - 2475 g bei Kaninchen.

b) Die intrathorakale Druckregistrierung

Geht man von der Vorstellung aus, daß im Mediastinum eines Tieres Stellen vorhanden sind, an denen die Kontinuität der Pleura parietalis unterbrochen ist und damit Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen bestehen, so muß man sich nach den Auswirkungen dieser Baubesonderheiten fragen. Unter normalen Bedingungen, d. h. bei unverletztem Thorax, wird sich ein Tier mit durchlässigem Mediastinum von einem anderen mit undurchlässigem durch nichts unterscheiden. Im kapillären Spalt zwischen Pleura parietalis und visceralis herrscht auf beiden Seiten ein Unterdruck, die Lungen liegen der Thoraxwand fest an. Anders verhält es sich, wenn Luft in den Pleuraspalt einer Seite eindringt (geschlossener und offener Pneumothorax). Bei undurchlässigem Mediastinum bleibt der Lufteinbruch auf eine Pleurahöhle beschränkt, in der anderen bleibt der Unterdruck im kapillären Pleuraspalt bestehen. Liegen jedoch Pleuraverbindungen vor, so wird die Luft, dem Druckgefälle folgend, auch in die andere Pleurahöhle einströmen, bis ein Druckausgleich erreicht ist. Beim offenen Pneumothorax ist der Druckausgleich erreicht, wenn in beiden Pleurahöhlen atmosphärischer Druck herrscht.

Die in die kontralaterale Pleurahöhle eingedrungene Luft kann man nachweisen, indem man diese Pleurahöhle punktiert und an ein Wassermanometer anschließt. Versuche dieser Art wurden von SNYDER (1924) und TSUNODA (1927) unternommen. Das Tier atmet aber trotz des doppelseitigen Pneumothorax noch eine Weile weiter, es verstärkt die Atemexkursionen sogar, um die herabgesetzte Lungenventilation zu kompensieren. Dadurch ändert sich der Druck in beiden Pleurahöhlen laufend, und eine Kontrolle mit dem sehr trägen und umständlichen Wassermanometer wird wenig sinnvoll und hat kaum Beweiskraft.

Diese Nachteile haften der fortlaufenden Registrierung des Druckes mit Hilfe einer Marey-Kapsel nicht an. Die entstehende Kurve zeigt den intrathorakalen Druckverlauf während aller Phasen der Atmung relativ im Verhältnis zum atmosphärischen Druck. Eine Kenntnis der absoluten

Werte ist aber für unsere Fragestellung völlig entbehrlich. Es ist daher zu erwarten, daß an dem Verlauf dieser Kurve, auch im Vergleich zu der entsprechenden Kurve der anderen Seite, das Eindringen von Luft in die kontralaterale Pleurahöhle sichtbar werden wird.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde eine Methode entwickelt, die die Registrierung des Druckverlaufs in beiden Pleurahöhlen gestattete. Das narkotisierte Tier wurde in Rückenlage auf einer Korkplatte befestigt. Mit einer chirurgischen Pinzette wurde jeweils die unterste Rippe angehoben und auf beiden Seiten von abdominal durch Bauchhaut und Zwerchfell tangential zur Thoraxwand nacheinander in jede Pleurahöhle eine Kanüle von 2,2 mm Durchmesser eingeführt.

Die übliche Punktion durch einen Interkostalraum versagte bei so kleinen Tieren, da hierbei die Lage der Kanüle im Brustraum ungünstig und ihre Durchgängigkeit nicht mit genügender Sicherheit gewährleistet war. Der Durchmesser von 2,2 mm war erforderlich, da dünnere Kanülen ständig verlegt wurden. Die Kanülen wurden durch Gummischläuche mit Dreiwegehähnen verbunden, deren Durchlaßweite ebenfalls 2,2 mm betrug. Von hier führten zwei Schläuche zu zwei Marey-Kapseln, deren Ausschläge auf einem rotierenden Kymographion nach Eichung der Nullinie registriert wurden. Die Kapseln waren straff gespannt, es erfolgte also eine Druck- und keine Volumenmessung.

Beim Einführen der Kanüle in die Pleurahöhle fiel der entsprechende Zeiger am Kymographion durch den Unterdruck etwas ab. Nach Einführen beider Kanülen wurde der durch die Atemexkursionen wechselnde Unterdruck in beiden Pleurahöhlen nun unabhängig voneinander in Form von zwei Kurven auf dem Kymographion aufgezeichnet. Eine gewisse Schwierigkeit bestand darin, beim Einführen der zweiten Kanüle die erste in ihrem Sitz nicht zu verändern und damit zu verschließen.

Nachdem genügend Erfahrungen über den Kurvenverlauf unter normalen Bedingungen vorlagen, wurde ein offener Pneumothorax gesetzt und der Kurvenverlauf der kontralateralen Seite studiert. Die Versuchsanordnung blieb die gleiche. Der gewohnte Verlauf der beiden Kurven

auf dem Kymographion zeigte an, daß beide Kanülen richtig lagen und durchgängig waren. Nun wurde der rechte Dreiwegehahn, der zwischen rechter Punktionsnadel und Marey-Kapsel lag, geöffnet. Dadurch bekam das System Pleurahöhle - Schläuche - Marey-Kapsel eine offene Verbindung zur Außenluft. Rechts war damit ein offener Pneumothorax gesetzt. Die Ausschläge der rechten Marey-Kapsel hörten im gleichen Augenblick auf, da durch die Öffnung des rechten Dreiwegehahnes eine Übertragung von Druckschwankungen von der Pleurahöhle auf die Kapsel verhindert wurde. Trotzdem war es sinnvoll, zunächst beide Kurven zu registrieren. Man hatte dadurch auf dem Kymographion eindeutig den Zeitpunkt festgehalten, an dem der Pneumothorax gesetzt worden war. Noch wichtiger aber war die Kontrolle über Sitz und Durchgängigkeit der rechten Kanüle. Die Punktion des Thorax kleiner Tiere bringt immer die Gefahr mit sich, daß kleine Lageveränderungen auftreten und damit die Kanülenöffnung verschlossen wird. Hatte man aber durch Beobachtung der Kurven die Gewißheit, daß beide Kanülen im Pleuraspalt lagen und durchgängig waren, brauchte man Lageveränderungen der Kanülen durch Öffnen des Dreiwegehahnes nicht mehr zu befürchten. Dieses Verfahren brachte somit große Vorteile. Es wurden deshalb alle drei Tierarten auf diese Art untersucht.

Ein Vergleich des Druckverlaufs der punktierten Seite mit dem der kontralateralen Pleurahöhle war jedoch ebenfalls wichtig. Das war nur möglich, wenn beide Dreiwegehähne geschlossen blieben. Deshalb wurde in weiteren Versuchen der offene Pneumothorax rechts durch eine zusätzliche, dritte Punktion gesetzt. Um das Trauma (s. o.) möglichst klein zu halten, wurde eine wesentlich dünnere Kanüle benutzt. Diese wurde am oberen Ende des Thorax entgegengesetzt der Stichrichtung der beiden ersten Kanülen eingeführt.

Abschließend wurde die intrathorakale Druckregistrierung auch auf die Thorakotomie ausgedehnt. Das Fell der Versuchstiere wurde über der rechten Thoraxwand schon vor den Punktionen gespalten. Waren die

Kanülen eingeführt und zeigten beide Marey-Kapseln gleichmäßige Ausschläge, wurde die rechte Thoraxwand parallel zum Verlauf der Rippen mit einem Scherenschlag gespalten und die Wunde offen gehalten. Der Druckverlauf wurde in beiden Pleurahöhlen registriert, da beide Kapseln über die geschlossenen Dreiwegehähne mit den Pleurahöhlen verbunden blieben. Diese Versuche wurden nur an Ratten unternommen.

c) Röntgenuntersuchungen

Mit den bisher geschilderten Untersuchungsmethoden war es möglich, den Unterdruck in den Pleurahöhlen zu registrieren und aus den dabei entstandenen Kurven Aufschluß darüber zu bekommen, ob Luft in die kontralaterale Pleurahöhle eindrang. Um die erhaltenen Ergebnisse zu sichern, war es erforderlich zu klären, wo die Verbindungsstelle zwischen den Pleurahöhlen lag. Auch sollte geprüft werden, ob Flüssigkeiten ebenfalls von einer Seite auf die andere gelangen konnten.

Diese Fragen ließen sich durch Röntgenuntersuchungen am besten beantworten. Versuchstiere waren lebende Ratten, die mit Äther und Evipan narkotisiert wurden. Alle Untersuchungen wurden an "Müller DA 1000" Geräten durchgeführt.[+)]
Für die Aufnahmen wurden Folienfilme der Firmen Gevaert und Kodak benutzt. Die Belichtungszeiten betrugen 0,003 sec bei 35-40 kV. Der Film-Fokus-Abstand betrug bei den Aufnahmen 1 m, bei den Zielschüssen entsprechend weniger.

Auch im Rahmen der Röntgenuntersuchungen wurde für alle Punktionen der abdominale Weg gewählt, um zu vergleichbaren Ergebnissen

---

[+)] Die Röntgengeräte wurden uns dankenswerter Weise von Herrn Professor Frommhold, Chefarzt der Strahlenabteilung des Städtischen Auguste-Viktoria Krankenhauses, Berlin Schöneberg, zur Verfügung gestellt.

zu kommen. Der Nachweis eines Pneumothorax bei der Ratte auf Röntgenschirm und Aufnahmen war ohne besondere Maßnahmen kaum möglich, da die Strahlenabsorption im Lungengewebe zu gering und damit die Dichte von Luft und Lungen auf den Aufnahmen praktisch gleich war. Deshalb wurde durch einen dünnen Plastikschlauch eine kleine Menge dünnflüssiges Kontrastmittel (1 - 2 ml Urografin 60%) in die Trachea injiziert. Das Kontrastmittel verteilte sich auf den Bronchialbaum beider Lungen. Danach gelang die Abgrenzung des Pneumothorax ohne Schwierigkeiten.

Es wurden nun bei einer Reihe von Tieren Aufnahmen während eines offenen Pneumothorax sowie während einer Thorakotomie gemacht. In allen Fällen wurden Leeraufnahmen vor Anlegen des Pneumothorax, jedoch nach Injektion des Kontrastmittels in die Trachea, angefertigt.

Die direkte Injektion des Röntgenkontrastmittels in eine Pleurahöhle versprach, einen Hinweis auf den Sitz der Verbindungsöffnungen zu geben. Bei den ersten Untersuchungen dieser Art wurde Urografin 60 % (Viskosität 4,8 cPs) nach abdominaler Punktion in die rechte Pleurahöhle injiziert und etwa 15 sec später eine Aufnahme gemacht.

Da es sich nach Angaben von SEIFERT (1927) auch bei der Ratte um mikroskopisch kleine Öffnungen[+)] im Mediastinum handeln sollte, wurden auch höher viskose Kontrastmittel (Urografin 76%, Viskosität 8,5 cPs, und Endografin 70%, Viskosität 18 cPs) injiziert unter der Vorstellung, daß diese die kleinen Öffnungen eventuell nicht mehr passieren könnten. Mit beiden Kontrastmitteln wurden jeweils fünf Tiere untersucht. Das Kontrastmittel wurde während der Durchleuchtung injiziert, seine Verteilung verfolgt und eine Aufnahme gemacht, wenn es den kontralateralen Phrenikokostalwinkel erreicht hatte. Abschließend wurde bei je einem Tier eine seitliche Aufnahme nach Kontrastmittelinjektion sowie eine Aufnahme nach linksseitiger Kontrastmittelinjektion angefertigt.

[+)] Makroskopische Öffnungen im Mediastinum konnten auch bei keiner der drei von mir untersuchten Tierarten festgestellt werden (Sektion).

III. Befunde

Die Punktion beider Pleurahöhlen eines Tieres von der Größe einer Ratte bedeutete für das Tier eine Störung seiner normalen Atemtätigkeit, auch wenn die Punktionsnadeln mit geschlossenen Systemen verbunden waren. Die ersten Untersuchungen galten daher der Atmung der Versuchstiere unter den Bedingungen der intrathorakalen Druckregistrierung. Alle 9 untersuchten Tiere (Ratten) atmeten nach der beiderseitigen Punktion lange Zeit weiter. Die nach den Punktionen entstandenen Kurven verliefen wellenförmig. Während der Inspiration fielen beide Zeiger ein Stück ab, während der Exspiration stiegen sie wieder an. Sie blieben auch während der Exspiration deutlich unterhalb der Nullinie. Es blieb also immer ein Unterdruck bestehen (s. Anhang, Abb. 1).

Wurde der Eingriff über längere Zeit durchgeführt, vergrößerte sich die Amplitude der Zeigerausschläge ein wenig. Bei 3 Tieren trat nach 20 bzw. 32 bzw. 37 Minuten ein irreversibler Atemstillstand auf. Bei den anderen 6 Tieren wurde der Versuch nach geraumer Zeit abgebrochen, in 1 Fall erst nach 67 Minuten. Eins der Tiere, das den Eingriff überstanden hatte, wurde später im Tierstall tot aufgefunden, die anderen zeigten auch während der folgenden Tage völlig normales Verhalten. Aus diesen Beobachtungen ergab sich, daß die Methode für die geplanten Untersuchungen durchaus geeignet war.

Nach Öffnen des rechten Dreiwegehahnes stieg die Kurve der linken Seite bei allen untersuchten Ratten (19 Tiere) sofort an. Ein Teil der Kurve, der vorwiegend der exspiratorischen Phase entsprach, lag jetzt über der Nullinie (Abb. 2). Die Amplitude blieb etwa die gleiche. Die Zeiten vom Öffnen des Dreiwegehahnes bis zum Atemstillstand der Tiere waren unterschiedlich, zum Teil jedoch beachtlich. Sie betrugen durchschnittlich 15 Minuten, im Einzelfall sogar 70 Minuten.

Die Nullinie war jeweils vor dem Versuch geeicht worden und entsprach dem atmosphärischen Druck. Lag die Kurve oberhalb dieser Linie, mußte in der Pleurahöhle ein positiver Druck, ein Überdruck, herrschen. Dieser in der linken Pleurahöhle aufgetretene Überdruck war der Beweis dafür, daß Luft in die Pleurahöhle gelangt war. Folgende Überlegungen verdeutlichen das: In dem System Kanüle - Schläuche - Marey-Kapsel, forthin als Meßsystem bezeichnet, befand sich bei atmosphärischem Druck eine bestimmte Menge Luft. Der Zeiger stand dabei auf Null. Beim Einführen der Kanüle in die Pleurahöhle, in der ein negativer Druck herrschte, wurde ein Teil dieser Luft in die Pleurahöhle gesaugt. Infolgedessen sank die Bespannung der Marey-Kapsel ein und der Zeiger fiel unter die Nullinie ab. Würde nun der Pneumothorax der rechten Pleurahöhle nur eine Mediastinalverschiebung bewirkt haben, so würde zwar in der linken Pleurahöhle kein negativer Druck mehr herrschen, es wäre sogar möglicherweise zu einer Kompression und damit zu einem positiven Druck in der linken Pleurahöhle gekommen, dieser hätte sich jedoch keinesfalls auf die Marey-Kapsel auswirken können. Denn mehr als die vorher aus dem Meßsystem ausgetretene Menge Luft konnte nicht wieder hineingedrückt werden, und diese Menge war gerade ausreichend, um das Nullniveau wieder zu erreichen. Erst wenn über die im Meßsystem befindliche Menge Luft hinaus zusätzlich Luft in die linke Pleurahöhle gelangte, konnte sich ein positiver Druck in dieser auch auf die Marey-Kapsel auswirken.

Verfolgte man nach diesen Überlegungen den Verlauf der Kurve während einer Atemphase, so ergab sich folgendes Bild: In der linken Pleurahöhle herrschte atmosphärischer Druck, der Zeiger befand sich in Höhe der Nullinie. Während der Inspiration wurde der Druck durch die Ausdehnung des Thorax vorübergehend negativ, der Zeiger fiel ab. Dem Druckgefälle folgend, strömte Luft in die linke Pleurahöhle (wahrscheinlich aus der in direkter Verbindung mit der Außenluft stehenden rechten Pleurahöhle). Wäre der Thorax jetzt in Inspirationsstellung ge-

blieben, wäre die Kurve flach wieder angestiegen und hätte bei Druckausgleich das Nullniveau erreicht. Der Thorax verkleinerte sich jedoch bei der folgenden Exspiration wieder. Dadurch wurde ein Druck auf die Luft ausgeübt, die sich in der Pleurahöhle befand, die Kurve stieg steil an und erreichte positive Werte. Im weiteren Kurvenverlauf konnten zwei Typen unterschieden werden: Bei niedriger Atemfrequenz fiel die Kurve durch den schnell erfolgenden Druckausgleich zunächst steil, bald aber flacher werdend zur Nullinie ab. Mit einem deutlichen Knick setzte dann steil abfallend die nächste Inspiration ein (Abb. 2). Bei hoher Atemfrequenz dagegen fiel die nächste Inspiration in die Phase des exspiratorischen Druckausgleichs hinein, so daß es zu einem geradlinigen Abfall der Kurve bis zum unteren Wendepunkt kam.

Aus dem beobachteten Kurvenverlauf konnte also mit Sicherheit geschlossen werden, daß während des offenen Pneumothorax der rechten Seite Luft in die linke Pleurahöhle gelangte. Diese Kurve ließ allerdings keine sichere Aussage darüber zu, ob die Luft auch wirklich aus der rechten Pleurahöhle kam. Das ließ sich erst beurteilen, als beide Dreiwegehähne geschlossen blieben und während der Punktion der rechten Pleurahöhle durch eine dritte Kanüle die Druckschwankungen in beiden Pleurahöhlen am Kymographion aufgezeichnet wurden. Wegen der vielen Fehlschläge infolge technischer Schwierigkeiten (s. o.) konnten nur 4 Versuche (an Ratten) zur Beurteilung herangezogen werden. Diese zeigten übereinstimmend, daß die Kurven beider Seiten nahezu parallel verliefen (Abb. 3). Der Druck konnte aber nur dann in beiden Pleurahöhlen stets der gleiche sein, wenn diese miteinander in Verbindung standen. Der langsamere Anstieg der Kurven nach der Punktion bei diesen Versuchen wurde dadurch bedingt, daß eine sehr dünne Kanüle für die Punktion verwendet wurde. Die Gründe wurden oben erläutert.

Auch bei der Thorakotomie (6 Ratten) konnte man auf beiden Seiten gleiche Kurvenbilder beobachten. Wie schon erwähnt, blieben bei diesen Versuchen ebenfalls beide Pleurahöhlen mit den Marey-Kapseln verbunden. Sobald der Thorax eröffnet worden war, fand man auf beiden

Seiten nur noch ganz geringe Zeigerausschläge um die Nullinie herum (Abb. 6). Aufgrund der relativ großen Thorakotomieöffnung kam es sofort zum Ausgleich der atmungsbedingten Druckschwankungen, ein Unterdruck konnte sich nicht mehr entwickeln. Damit war auch eine Belüftung der Lungen nicht mehr möglich. Infolgedessen kamen die Tiere innerhalb 1 Minute ad exitum. Bei der offenen Punktion waren dagegen bei der gleichen Tierart, wie erwähnt, wesentlich längere Zeiten (bis zu 70 Minuten) beobachtet worden.

Auch beim Meerschweinchen (4 Tiere) ließ sich nach Öffnen des rechten Dreiwegehahnes in der linken Pleurahöhle ein positiver Druck nachweisen. (Abb. 4). Die Tiere reagierten jedoch ganz anders auf den Eingriff als die Ratten. Sie beantworteten übereinstimmend den Pneumothorax zunächst mit einem Atemstillstand. Während dessen stieg die Kurve der linken Seite bis zur Nullinie an. Nach etwa 15 Sekunden setzte die Atmung wieder ein. Die Tiere versuchten jetzt, durch krampfhafte Exspirationsstöße die in die Pleurahöhlen eingedrungene Luft wieder hinauszudrücken. Der dadurch erreichte Unterdruck war aber für eine Belüftung der Lungen nicht ausreichend (Abb. 4). So kam es in allen 4 Fällen nach etwa 1 Minute zum definitiven Atemstillstand.

Ganz andere Ergebnisse erhielt man am Kaninchen (3 Tiere). Bei dieser Tierart konnte nach Öffnen des rechten Dreiwegehahnes kein positiver Druck in der linken Pleurahöhle beobachtet werden. Bei 2 Versuchen blieb das Niveau der Kurve vor und während des Pneumothorax der Gegenseite das gleiche, beim 3. Versuch (Abb. 5) stieg die Kurve leicht an, blieb aber auch weit unterhalb der Nullinie. Ähnlich wie bei den Meerschweinchen reagierten zwei Tiere auf den Pneumothorax mit einem Atemstillstand. Die Atmung setzte jedoch nach wenigen Sekunden völlig normal wieder ein. In allen drei Versuchen ließ sich während des offenen Pneumothorax eine kompensatorische Tachypnoe beobachten. Zwei Tiere kamen nach 9 bzw. 13 Minuten ad exitum, obwohl die Atemfunktion der linken Lunge völlig erhalten geblieben war. Diese eigenartige Tatsache war auch schon TSUNODA (1927) aufgefallen. Er suchte

die Erklärung in einer Unterkühlung des Tieres. Bei dem dritten Tier wurde der Versuch abgebrochen, bevor der Atemstillstand auftrat. Dieses Tier überlebte.

Der röntgenologische Nachweis des kontralateralen Pneumothorax bei der Ratte gelang, wie schon erwähnt, erst nach Einspritzen eines Kontrastmittels in die Lungen. Es wurden 8 Tiere untersucht. Davon wurde 1 Fall nicht verwertet, da durch ungünstige Kontrastmittelverteilung eine sichere Aussage nicht möglich war. Bei 4 Fällen fand man auf den während des Punktionspneumothorax hergestellten Aufnahmen in beiden Phrenikokostalwinkeln Aufhellungen, die auf den Leeraufnahmen nicht nachweisbar waren. In 3 Fällen zog die Aufhellung als bogenförmige konvexe Linie in Höhe des Zwerchfells von einem Winkel zum anderen (Abb. 7). Damit war in allen 7 Fällen der Nachweis von Luft in der kontralateralen Pleurahöhle erbracht.

Auf den während einer Thorakotomie angefertigten Aufnahmen (2 Fälle) fand sich rechts wie links eine massive, die Lungen überlagernde Aufhellung (Abb. 8).

Die in eine Pleurahöhle injizierten Kontrastmittel der verschiedenen Viskositätsgrade waren bei allen untersuchten Tieren nach relativ kurzer Zeit in der anderen Pleurahöhle nachweisbar. Im einzelnen fanden sich folgende Befunde: Auf 3 von insgesamt 5 Aufnahmen, die jeweils 15 Sekunden nach Injektion von 60%igem Urografin angefertigt worden waren, hatte sich das Kontrastmittel gleichmäßig über beide Pleurahöhlen verteilt, und zwar vorwiegend auf die Phrenikokostalwinkel (Abb. 9). Auf der 4. Aufnahme fand man die geschilderte Kontrastmittelverteilung auch. Da jedoch der Herzbeutel anpunktiert wurde, war dieser Fall nicht verwertbar. Auf der 5. Aufnahme sah man das Kontrastmittel in einem konvexen Bogen (wie schon beim Pneumothorax beschrieben) von einem zum anderen Phrenikokostalwinkel ziehen. In diesem Fall war die Verteilung des Kontrastmittels nicht gleichmäßig. Die rechte Pleurahöhle,

in die das Mittel injiziert worden war, war stärker verschattet als die linke. Darüberhinaus fand sich in diesem Fall auch im kaudalen Pol des Herzbeutels Kontrastmittel, ohne daß dieser anpunktiert worden wäre.

Auch die höher viskösen Kontrastmittel Urografin 76% und Endografin 70% gelangten immer auf die kontralaterale Seite. Mit jedem Kontrastmittel wurden wieder 5 Tiere untersucht. Im Unterschied zu den vorigen Untersuchungen wurde jetzt die Verteilung auf dem Schirm beobachtet (s.o.). Die Kontrastmittel verteilten sich nach der Injektion zunächst in der rechten Pleurahöhle, flossen aber bald am Übergang vom unteren zum mittleren Drittel der Pleurahöhle (unterhalb des Herzens) in Form der schon mehrfach erwähnten konvexen Linie auf die Gegenseite hinüber. Wenn sie den gegenüberliegenden Phrenikokostalwinkel erreicht hatten, wurden Aufnahmen gemacht. Diese Aufnahmen zeigten alle übereinstimmend eine Kontrastmittelverteilung, wie sie schon beim 5. Fall nach Injektion von Urografin 60% beschrieben worden ist. Eine Füllung des Herzbeutels fand sich jedoch nur in 1 Fall nach Injektion von Urografin 76% und in 2 Fällen nach Injektion von Endografin 70%. Auch bei diesen Untersuchungen war der Herzbeutel nicht anpunktiert worden (Durchleuchtungskontrolle !).

Die Zeiten von der Injektion der Kontrastmittel bis zu ihrem Nachweis im kontralateralen Phrenikokostalwinkel waren beim Endografin länger als beim Urografin 76%. Sie überschritten jedoch 30 Sekunden nicht. 60%iges Urografin hatte sich bereits nach 15 Sekunden gleichmäßig über beide Pleurahöhlen verteilt.

Wurde das Kontrastmittel in die linke Pleurahöhle injiziert, beobachtete man die Verteilung spiegelbildlich (1 Fall). Auf der seitlichen Aufnahme (1 Fall, Abb. 11) fand sich das Kontrastmittel vorwiegend im dorsalen und ventralen Phrenikokostalwinkel sowie unter dem Herzen. Bei vergleichender Betrachtung der seitlichen mit einer ap-Aufnahme war zu erkennen, daß die Verbindungsstelle zwischen den Pleurahöhlen im ventralen Mediastinum, zwischen Herz, Zwerchfell und Sternum, lag.

IV. Diskussion

Schon seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts wurde die Frage diskutiert, ob und bei welchen Tieren intravitale Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen zu finden wären. ERDELYI (1846), GURLT (1822) und LEYH (1850) beschrieben das postkardiale Mediastinum beim Pferd ähnlich einem Spinnengewebe, dem Netz in der Bauchhöhle vergleichbar. FRANCK (1883) und MÜLLER (1885) widersprachen dieser Auffassung. Die Löcher im Mediastinum des Pferdes wären von Membranen verschlossen, die erst beim Eindringen von Luft in die Pleurahöhlen oder durch Einwirkung mechanischer Kräfte auf das Mediastinum einrissen. Bei Schweinen und Fleischfressern fehlten nach Angaben dieser Autoren jegliche Perforationen. Auch in später erschienenen Handbüchern fanden sich gegensätzliche Angaben. MARTIN (1912) bestritt das Vorkommen von Perforationen beim Pferd, ELLENBERGER-BAUM (1912) beschrieben wieder solche Verbindungen. Wieweit diese Urteile auf eigenen Untersuchungen beruhten, war nicht ersichtlich.

SISSON (1914) vertrat den Standpunkt, daß das Mediastinum beim Pferd gewöhnlich gefenstert sei. Er erwähnte erstmals, daß beim Foeten (Pferd) keine derartigen Verbindungen zu finden wären. Die bisher genannten Autoren stellten ausschließlich histologische Untersuchungen an. Die erste Prüfung der praktischen Auswirkungen eines möglicherweise perforierten Mediastinum fand sich bei BRECCIA (1913). Er berichtete, daß bei seinen Versuchen infolge der geringen Stärke des Septum mediastinale bei Hunden und Kaninchen Luft von einer Pleurahöhle in die andere übergetreten wäre. Genauere Angaben zur Methodik fehlen jedoch. Auch BOIT (1914) fand bei seinen Untersuchungen an lebenden Hunden und Kaninchen immer ein Übertreten von Luft auf die Gegenseite. Angaben zur Methode fehlen auch in dieser Arbeit.

In den zwanziger Jahren setzte eine lebhafte Diskussion dieses Problems ein. BURCKHARDT (1921) stellte durch Untersuchungen bei Pneumo-

thorax und Spannungspneumothorax am lebenden Tier fest, daß der Pneumothorax beim Hund immer doppelseitig, beim Kaninchen dagegen einseitig war. Französische Autoren gaben histologischen Untersuchungen den Vorzug. DUVAL (1922) berichtete, daß beim Hund Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen beständen und der Pneumothorax immer doppelseitig wäre. Der Hund wäre deshalb als Versuchstier für die Thorakotomie ungeeignet, da die gewonnenen Ergebnisse nicht auf die Thorakotomie am Menschen übertragen werden dürften. Ihm wurde von GRAHAM (1923) scharf widersprochen. Dieser Autor hatte in zahlreichen Versuchen am Hund nie einen doppelseitigen Pneumothorax beobachtet. Als Beweis führte er Röntgenbilder von Hunden mit einseitigem Pneumothorax an. Er kam daher zu dem Schluß, daß am Hund gewonnene Ergebnisse auch auf die Verhältnisse am Menschen übertragen werden dürften.

Aufgrund dieser Kritik untersuchte DUVAL (1923) erneut das Mediastinum des Hundes histologisch. Er kam jetzt zu dem Resultat, daß anatomisch keine Perforationen vorhanden wären. An manchen Stellen wäre das Mediastinum jedoch so dünn, daß schon durch Ziehen, Färbung, Behandlung mit Silbersalzen, ja sogar alleine durch Austrocknung Perforationen entstehen könnten. Daraufhin führte er nochmals Pneumothoraxversuche am Hund durch und erhielt immer einen doppelseitigen Pneumothorax. So kam er zu dem Schluß, daß die Pleurahöhlen beim Hund anatomisch getrennt wären, funktionell müßte man sie jedoch als miteinander in Verbindung stehend betrachten.

NAVEZ und LAHAYE (1924) untersuchten das Mediastinum bei Pferden und Hunden histologisch. Neben anderen Versuchen stellten sie die Zellgrenzen im Mediastinum eines zweijährigen Hundes mit Argentum nitricum dar, um den Beweis zu erbringen, daß die beschriebenen Perforationen keine Einrisse waren. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß beim Pferd das "médiastin postérieur", beim Hund sowohl das "médiastin postérieur" als auch das "médiastin moyen" normalerweise perforiert

wären. Die Autoren faßten das Mediastinum an diesen Stellen als seröse Haut auf und verglichen es dem großen Netz in der Bauchhöhle. Durch die genannten Perforationen ständen beide Pleurahöhlen auch anatomisch miteinander in Verbindung, nicht erst nach mechanischen Einwirkungen oder bei Druckunterschieden. Auch diese Autoren machten darauf aufmerksam, daß die Verbindungen erst im Laufe der ersten Lebensmonate entstehen.

LUCIEN und GUIBAL (1924) füllten die Pleurahöhlen des Hundes beim toten Tier einseitig und doppelseitig mit Gips. Sie fanden kein Übertreten von Gips von einer in die andere Pleurahöhle. Sie betrachteten das als Beweis dafür, daß das Mediastinum dicht wäre. Der Beweis wäre damit allerdings nur für tote Tiere erbracht.

VEENENDAAL (1925) ging mit völlig neuen Methoden an das Problem heran. Nachdem auch er histologisch beim jungen Hund keine, beim älteren dagegen viele Löcher im Mediastinum fand, resezierte er beim frisch getöteten Tier einen Teil der lateralen Thoraxwand, lagerte das Tier seitlich und füllte die offene Pleurahöhle mit Wasser. Die darunter liegende andere Pleurahöhle füllte er über ein Manometer langsam mit Luft. Er beobachtete das Auftreten von Luftblasen im ventralen Mediastinum bei Druckwerten zwischen 9,6 cm Wasser (bei älteren Hunden) und 14,7 cm Wasser (bei drei bis vier Monate alten Hunden). Bei noch jüngeren Hunden platzte das Mediastinum bei einem Druck von 30 cm Wasser, ohne das vorher Luftblasen beobachtet werden konnten. Der Autor ließ berechnen, daß bei einem Manometerstand von $\pm$ 1/100 atm. die Größe der Öffnungen $\pm$ 100 μ betragen müsse. In einer zweiten Reihe untersuchte er das Verhalten lebender Hunde beim einseitigen und doppelseitigen Pneumothorax. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Tiere den Eingriff durchaus überstehen könnten, es käme nur auf die relative Größe der Thorakotomieöffnung an. Überschreite sie einen gewissen Wert, dann sterben die Tiere. Auch FRIEDLAND (1924) fand bei Hunden eine Abhängigkeit der Verträglichkeit eines offenen Pneumothorax von dem Verhältnis zwischen der Summe aller Thoraxöffnung und dem

Durchmesser der Hauptbronchien.

Während alle bisher referierten Autoren (mit Ausnahme von LUCIEN und GUIBAL 1924) das Auftreten eines kontralateralen Pneumothorax beim Hund, sei es durch anatomisch vorgebildete Löcher, sei es durch traumatisch entstandene Einrisse, für die Regel hielten, bestritt GRAHAM (1924) dieses in einer weiteren Arbeit nochmals energisch. Er führte als Beweis wiederum Röntgenaufnahmen an, die einen einseitigen Pneumothorax beim Hund zeigten, weiterhin Aufnahmen von einseitig verbleibender 20%iger Natriumbromidlösung, die in eine Pleurahöhle gespritzt worden war. Er fand keinen Widerspruch darin, daß er nach 10 Minuten auf der anderen Seite Kontrastmittel nachweisen konnte. Es gelangte seiner Ansicht nach durch Dialyse dorthin. Zur Stützung dieser Theorie führte er Dialyseversuche mit dem Mediastinum von Hund und Mensch durch und konnte beobachten, daß bei einwandfrei luftdichtem Mediastinum eine deutliche Dialyse stattfand. Auch dieser Autor fand eine Abhängigkeit der Verträglichkeit eines offenen Pneumothorax von der relativen Größe der Thoraxöffnung, und zwar in Beziehung zur Vitalkapazität. Er berechnete eine Öffnungsgröße von 67 cm^2, die normalerweise vom Menschen vertragen werden könnte.

SNYDER (1924) studierte das Problem an Hunden ebenfalls mit Natriumbromidinjektion und Röntgenkontrolle. Er kam zu genau entgegengesetzten Resultaten. Er fand die Verteilung immer bilateral. Die Möglichkeit einer Dialyse diskutierte er nicht. Außerdem schloß er beide Pleurahöhlen an Wassermanometer an und füllte eine der beiden schubweise mit Luft. An den Manometern las er die Druckveränderungen ab. Schließlich fertigte er Röntgenaufnahmen des Pneumothorax an. Er fand bei diesen Untersuchungen, die er sowohl an lebenden als auch an toten Tieren durchführte, gleiches Druckverhalten in beiden Pleurahöhlen und röntgenologisch immer einen bilateralen Pneumothorax.

TSUNODA (1927) untersuchte in Kenntnis der Arbeiten von DUVAL (1922), SNYDER (1924 und GRAHAM (1923 und 1924) das Problem mit einer

ähnlichen Methode wie SNYDER (Wassermanometer, Lufteinfüllung, Röntgenkontrolle, lebende und tote Tiere). Der Pneumothorax war bei seinen Untersuchungen beim Hund immer doppelseitig, beim Kaninchen dagegen einseitig. Trotzdem kam auch das Kaninchen nach einer Weile ad exitum. Der Autor sah die Erklärung dafür in einer Erniedrigung der Körpertemperatur durch den Pneumothorax. In weiteren Versuchen untersuchte er isoliert Teile des Mediastinum von Hunden und fand, daß das Mediastinum pericardio-sternale dem Durchtritt von Luft am wenigsten Widerstand bot.

AGDUHR (1927) untersuchte Pferde, Hunde und Katzen. Zunächst injizierte er verschiedenfarbige Lösungen in die Pleurahöhlen und versuchte, sie jeweils in der anderen Pleurahöhle wieder nachzuweisen. Von größerer Bedeutung sind seine histologischen Untersuchungen. Er setzte das Mediastinum unter dem Mikroskop mechanischen Beanspruchungen aus und mikroskopierte während der Fixation. Er konnte dabei jedoch niemals das Auftreten neuer Perforationen beobachten und kam zu dem Schluß, daß bei Pferd, Hund und Katze zahlreiche intravitale Perforationen im Mediastinum vorhanden wären. Diese Öffnungen lägen "vornehmlich im postkardialen Teil (Pferd, Hund und Katze), im kardialen (ventral vom Herz bei Hund und Katze) und im präkardialen Teil des Mediastinum bei alten und mageren Hunden und Katzen". Die Größe der Öffnungen lag nach seinen Angaben zwischen 0,77 x 0,56 mm und 0,01 x 0,003 mm. Die Perforationen entwickelten sich nach seinen Angaben postfoetal vom 2. und 3. Lebensmonat an, parallel mit dem Größenzuwachs und der hiermit entstehenden "Verdünnung des Mediastinum", "während welcher das Bindegewebe in alveolären Typus übergeht". Diese Perforationen wären nicht nur im Mediastinum, sondern auch in der Plica venae cavae und anderen Plicae zu finden.

SEIFERT (1928) versuchte die Ergebnisse TSUNODA's (1927) durch histologische Untersuchungen zu untermauern. Da nach seiner Ansicht

die Untersuchung von Schnittbildern ungeeignet war, präparierte er die mediastinalen Pleuraanteile ab und untersuchte das Flächenbild mikroskopisch. Er fand Perforationen bei Hund, Katze, Meerschweinchen und Ratte. Bei Mensch, niederen Affen und Kaninchen konnte er keine Perforationen nachweisen. Auch dieser Autor fand die Öffnungen vorwiegend im unteren Teil des Mediastinum. An diesen Stellen gliche der histologische Aufbau des Mediastinum dem des Omentum maius.

Bei MAXIMOW (1927) fand sich der Hinweis, daß Teile der Pleura in einer serösen Höhle zwischen Perikard und Diaphragma, die den Lobus intermedius der rechten Lunge enthalte, bei folgenden Tieren in ihrem Bau genau dem des Omentum maius gleiche: Kaninchen, Meerschweinchen, Ratte, Hund, Katze und Opossum. PALMGREEN (1928) unternahm ähnliche Versuche wie AGDUHR (1927) an lebenden und toten Hunden. Er kam ebenfalls zu dem Schluß, daß das Mediastinum perforiert wäre.

Während bei allen bisher referierten Untersuchungen nur mikroskopische Löcher gefunden worden waren, berichtete JAZUTA (1924) vom Opossum und HARTMANN-WEINBERG (1924) vom Opossum und von Parameles garagassi über makroskopische Öffnungen, die nach Angaben von HARTMANN-WEINBERG beim Opossum 2,5 cm und bei Parameles garagassi 1,0 cm im Durchmesser betragen haben sollten.

Beim Menschen wurden nur in seltenen Fällen Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen beobachtet. GROSS und LEWIS (1945) brachten eine Aufstellung von 8 Fällen der Literatur, in denen makroskopische Löcher durch T b c entstanden waren. Angeborene Verbindungen, die als Mißbildungen anzusehen sind, wurden in 3 Fällen beobachtet (LE WALD 1926; OCHSNER, DE BAKEY und MURRAY 1939; GROSS und LEWIS 1945). In funktioneller Sicht war eine Arbeit von RICHTER (1929) interessant. Der Autor erklärte das Fehlen einer Pleurahöhle und damit die Verwachsung der Lungen mit der Brustwand beim Elephanten damit,

daß der atmosphärische Druck nicht ausreiche, um die physiologische Stenose des Rüssels zu überwinden. Deshalb sei ein aktiver Zug vonnöten.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen stimmten mit den Ergebnissen der histologischen Untersuchungen SEIFERT's (1928) gut überein. Es konnte gezeigt werden, daß der Pneumothorax bei Ratte und Meerschweinchen sofort doppelseitig wurde, beim Kaninchen dagegen einseitig blieb. Bei der Ratte konnte auch das Übertreten einer Flüssigkeit (Röntgenkontrastmittel) von einer in die andere Pleurahöhle in vivo nachgewiesen werden.

Alle Autoren, die sich mit der Frage nach dem Sitz der Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen befaßten (NAVEZ und LAHAYE 1924; VEENENDAAL 1925; TSUNODA 1927; AGDUHR 1927), hatten die Öffnungen meist im ventralen Mediastinum beobachten können. Sie lagen dort zwischen Herzbeutel und Sternum bzw. Herzbeutel und Diaphragma. Die eigenen röntgenologischen Untersuchungen an lebenden Ratten zeigten die Verbindungen ebenfalls im vorderen unteren Mediastinum, zwischen Herz, Zwerchfell und Sternum. SISSON (1914), NAVEZ und LAHAYE (1924), VEENENDAAL (1925) und AGDUHR (1927) berichteten, daß beim Foeten und beim ganz jungen Tier keine derartigen Verbindungen nachweisbar wären. ERDELYI (1846), GURLT (1822), LEYH (1880), NAVEZ und LAHAYE (1924), SEIFERT (1928) und MAXIMOW (1927) vertraten den Standpunkt, daß der histologische Aufbau des Mediastinum an den Stellen der Kommunikationen dem Aufbau des Omentum maius völlig gleich oder zumindest sehr ähnlich sei. MAXIMOW (1927) behauptete das auch vom Mediastinum des Kaninchens. Bei dieser Tierart waren jedoch keine offenen Pleuraverbindungen nachweisbar. (SEIFERT 1928; TSUNODA 1927; eigene Untersuchungen). Makroskopisch sichtbare Öffnungen im Mediastinum wurden lediglich bei Opossum und Parameles garagassi gefunden (JAZUTA 1924; HARTMANN-WEINBERG 1924). Auf die ungeeigneten histologischen Arbeitsmethoden und die da-

mit verbundenen fehlerhaften Aussagen wurde bereits in der Einleitung hingewiesen. Arbeiten, die sich mit der Genese mediastinaler Verbindungen befaßten, lagen nicht vor. Auch die eigenen Untersuchungsergebnisse können keinen Beitrag hierfür liefern.

Über die Frage der interpleuralen Verbindungen hinaus gaben die eigenen Untersuchungen einen Einblick in das Verhalten von Ratten bei einem offenen Pneumothorax. Wie beschrieben, war der Pneumothorax bei diesen Tieren immer doppelseitig. Aus dem parallelen Verlauf beider Druckkurven beim offenen Pneumothorax einer Pleurahöhle konnte geschlossen werden, daß der Druckausgleich zwischen den Pleurahöhlen so schnell erfolgte, daß funktionell von einer Pleurahöhle gesprochen werden konnte. Deshalb wird im Folgenden nur noch vom Thoraxinneren oder vom Thoraxinnenraum gesprochen werden.

Es war auffallend, daß die Tiere trotz eines offenen Punktionspneumothorax zum Teil recht lange lebten, während sie bei der Thorakotomie nach ganz kurzer Zeit ad exitum kamen. Die Erklärung für diese Beobachtungen ergab sich aus folgenden Überlegungen: Die Überlebenszeit eines Tieres mit einem offenen Pneumothorax hängt im Wesentlichen von der Belüftung der Lungen ab. Bei der inspiratorischen Ausdehnung (Volumenzunahme) des geschlossenen Thorax entsteht im Thoraxinneren ein Unterdruck, der durch den Einstrom von Luft über den Respirationstrakt in die Lungen wieder ausgeglichen wird. Da das Thoraxinnere nur über diesen einen Weg mit der Außenluft kommuniziert, beeinflußt der Strömungswiderstand im Respirationstrakt lediglich die Zeit bis zum endgültigen Druckausgleich.

Ganz andere Verhältnisse herrschen beim offenen Pneumothorax. Es stehen nämlich jetzt zwei Wege zum Ausgleich des Unterdrucks zur Verfügung, der während der Inspiration entsteht. Diese beiden Wege sind der Respirationstrakt und die artifizielle Thoraxöffnung, durch die eine direkte Verbindung zur Außenluft besteht. Der Einstrom von Luft in das Thoraxinnere erfolgt jetzt vorwiegend über denjenigen Weg, der den geringe-

ren Strömungswiderstand bietet. Der Strömungswiderstand ist abhängig von dem Verhältnis zwischen Länge des Strömungskanals und Durchmesser der engsten Stelle desselben. Auch die Retraktionselastizität der Lungen, die der Ausdehnung der Lungen und damit auch dem Einstrom von Luft über den Respirationstrakt entgegenwirkt, muß in den Überlegungen berücksichtigt werden.

Die genannten Faktoren wirken sich alle auf die Belüftung der Lungen während eines offenen Pneumothorax aus. Die inspiratorische Volumenzunahme und der Strömungswiderstand der Thoraxöffnung (Länge/Durchmesser) fördern die Lungenbelüftung, sie wirken sich positiv aus. Der Strömungswiderstand im Respirationstrakt (Länge/Durchmesser) und die elastischen Kräfte der Lungen hindern die Lungenbelüftung, sie wirken sich negativ aus. Das bedeutet aber, daß der Druckausgleich um so mehr durch Auffüllen der Lungen erfolgt, je größer bei gleich bleibender Größe der anderen Faktoren die inspiratorische Volumenzunahme, die Länge des Thoraxöffnungskanals (Kanüle) oder der Durchmesser des Respirationstraktes (steht bei den negativ beeinflussenden Momenten unter dem Bruchstrich) werden. Umgekehrt erfolgt der Druckausgleich vorwiegend durch direkten Einstrom von Luft über die Thoraxöffnung in die Pleurahöhlen, wenn der Durchmesser der Thoraxöffnung (s.o.), die Länge des Respirationstraktes oder die elastischen Kräfte der Lungen größer werden.

In dieser Betrachtung sind sowohl die von FRIEDLAND (1924) als auch die von GRAHAM (1924) aufgestellten Beziehungen enthalten. Ersterer fand, wie berichtet, eine Abhängigkeit der Überlebenszeit von dem Verhältnis Thoraxöffnung zu Durchmesser der Hauptbronchien, letzterer eine solche zwischen Vitalkapazität (beachte Wechselbeziehungen zwischen dieser und der inspiratorischen Volumenzunahme) und Thoraxöffnung. Jede der beiden Beziehungen für sich war jedoch nicht ausreichend, da beide wesentliche Faktoren außer Acht ließen.

Bei Betrachtung der oben geschilderten eigenen Versuche findet man beim

offenen Pneumothorax durch Punktion mit einer Kanüle einen kleinen Durchmesser (2,2 mm) sowie eine ziemliche Länge des Thoraxöffnungskanals (Kanüle, Schlauchsystem, Dreiwegehahn). Die Lungenbelüftung mußte also relativ groß gewesen sein. In der Tat waren die Überlebenszeiten zum Teil recht beträchtlich. Auf den intrapleuralen Druckkurven sieht man, daß es inspiratorisch in den Pleurahöhlen zu einem nicht unbedeutenden Unterdruck kam. Der Unterdruck entstand infolge des Strömungswiderstandes der Thoraxöffnung. Durch diesen Unterdruck wurde Einstrom von Luft in die Lungen ermöglicht.
Bei der Thorakotomie dagegen findet man einen großen Durchmesser sowie eine geringfügige Länge (Thoraxwand) der Thoraxöffnung. Die Lungenbelüftung mußte also wesentlich schlechter gewesen sein. Das ist die Erklärung dafür, daß die Tiere bei diesen Versuchen nach kurzer Zeit ad exitum kamen. Auf den intrapleuralen Druckkurven sieht man den Unterdruck nur angedeutet, ein Zeichen dafür, daß der Strömungswiderstand der Thoraxöffnung ganz gering war.

Verfolgt man diese Gedanken weiter, dann kommt man zu dem Ergebnis, daß größere Tiere den Punktionspneumothorax theoretisch besser vertragen haben müßten als kleinere. Mit der Größe eines Tieres nimmt nämlich die Größe der inspiratorischen Volumenzunahme sowie in geringerem Grade auch der Durchmesser des Respirationstraktes zu, während sich die Länge des Respirationstraktes nur unwesentlich ändert. Die Größe der Thoraxöffnung war aber immer dieselbe. Man hatte auch wirklich den Eindruck, als ob die größeren Tiere bei diesen Versuchen länger gelebt hätten. Da die Überlebenszeit eines Tieres aber nicht nur von der Lungenbelüftung, sondern auch vom Kreislauf, von der Narkose und anderen Dingen abhing, konnte aus einem Vergleich der Zeiten von Pneumothorax bis Atemstillstand mit den Gewichten (gleich Größen) der Tiere keine Bestätigung dieser Theorie erwartet werden.

Die Erklärungen RICHTER's (1929) für die Verwachsung der Lungen mit der Brustwand beim Elephanten sind ein weiteres Beispiel für die Gültigkeit der geschilderten Anschauungen über die Lungenbelüftung. Bei diesem Tier wird durch die große Länge des Rüssels der Strömungswiderstand des Respirationstraktes so groß, daß die Lungenbelüftung auch bei Fehlen der komplizierenden Momente des offenen Pneumothorax nicht mehr gewährleistet wäre. Deshalb sind die Lungen mit der Thoraxwand verwachsen. Dadurch führt die inspiratorische Volumenzunahme zwangsläufig zu einem Lufteinstrom in die Lungen, der den oben dargelegten Gesetzen nicht mehr unterliegt.

V. Zusammenfassung

Zur Untersuchung gelangten insgesamt 57 Albinoratten, 4 Meerschweinchen und 3 Kaninchen. Es sollte die Frage geklärt werden, ob im Mediastinum dieser Tiere intravital Verbindungen zwischen den Pleurahöhlen bestehen, durch die ein einseitig gesetzter Pneumothorax doppelseitig wird.

Hierzu wurden die intrathorakalen Druckänderungen in einer bzw. in beiden Pleurahöhlen bei geschlossener und offener Punktion sowie nach Thorakotomie am Kymographion registriert. Außerdem erfolgte bei Ratten der Nachweis eines kontralateralen Pneumothorax durch Röntgenuntersuchungen mit verschiedenen Kontrastmitteln.

Intravitale mikroskopisch kleine Kommunikationen zwischen den beiden Pleurahöhlen fanden sich bei Ratte und Meerschweinchen, nicht dagegen beim Kaninchen. Die Verbindungen lagen bei der Ratte im Mediastinum zwischen Herz und Zwerchfell, nahe dem Sternum. Verbindungen zum Herzbeutel waren unsicher.

Abschließend wurden die Möglichkeiten diskutiert, warum ein Tier bei einer Thorakotomie ohne entsprechende Gegenmaßnahmen schneller zum Exitus kommt als bei einem Punktionspneumothorax.

VI. Schrifttum

AGDUHR, E.: Morphologische Beweise für das Vorhandensein intravitaler Kommunikationen zwischen den Kavitäten der Pleurasäcke bei einer Reihe von Säugetieren. Anat. Anz. 64 (1927), 276-298

BOIT: Über die Bedeutung und die Schädigung des Pleuraendothels bei Operationen und beim künstlichen Pneumothorax. Brun's Beitr. klin. Chir. 93 (1914), 326

BRECCIA, G.: Sul pneumotorace artificiale sperimentale. Gazz. med. ital. 64 (1913), No. 36, 353-355

BURCKHARDT, H.: Über einfachen und Spannungspneumothorax. Brun's Beitr. klin. Chir. 124 (1921), 516

CLEMENS, H. J. und WILLNOW, R.: Vorkommen, Lokalisation und Bedeutung von sauren Mucopolysacchariden in der Lunge. (II.: Lebenduntersuchungen über das Verhalten der Lungenalveole gegenüber gelösten Stoffen unter Verwendung des Fermentkomplexes Hyaluronidase. Erg. ges. Tbk. forsch. 14 (1958), 651-689

DUVAL, P.: Les données actuelles de la chirurgie intrathoracique unilatérale en plèvre libre. Presse méd., Paris, 38 (1922)

DUVAL, P.: Les plèvres communiquent-elles normalement chez le chien? Le pneumothorax est-il bilateral chez le chien? Presse méd., Paris, 68 (1923)

ELLENBERGER, W. und BAUM, H.: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Berlin: Hirschwald 1912, 13. Auflage

ERDELYI, M. v.: Grundlinien der Eingeweidelehre der Haussäugetiere, insbesondere des Pferdes. Wien 1883

FRANCK, L.: Handbuch der Anatomie der Haustiere. Stuttgart 1883, 2. Aufl.

FRIEDLAND, M.: Pathologische Physiologie des doppelseitigen Pneumothorax. Beitr. Klin. Tbk. 58 (1924), H. I

GRAHAM, E. A.: Principes qui découlent de la chirurgie intrathoracique. Presse méd., Paris, 13 (1923)

GRAHAM, E. A.: A reconsideration of the question of the effekts of an open pneumothorax. Arch. Surg., Chicago (1924), 347-357

GROSS, R. E. und LEWIS, J. E.: Defekt of the Anterior Mediastinum. Sugery, S. Louis, 80 (1945), 549

GURLT, E. F.: Handbuch der vergl. Anatomie der Haussäugetiere. Berlin: Hirschwald 1822

HARTMANN-WEINBERG, A.: Interpleuralöffnung und Luftsäcke bei Marsupialiern. Cr. Acad. Sc. Russie, A, (1924), 26-29

HUTYRA, F. und MAREK, J.: Spezielle Pathologie und Therapie der Haustiere. Jena: Fischer 1922, 6. Aufl., Bd. II

JAZUTA, K.: Baubesonderheiten der Pleurahöhlen beim Opossum. Anat. Anz. 73 (1932), 17-19.

LEYH, F. A.: Handbuch der Anatomie der Haustiere. Stuttgart: Ebner & Seubert 1850

LUCIEN, M. und GUIBAL, J.: Observations relatives à l'indépendance anatomique des plèvres chez le chien. Cr. Soc. biol., Paris, 91 (1924), 693-694.

MARTIN, P.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Bd. 1 - 4. Stuttgart: Schickhardt & Ebner 1912-1923.

MAXIMOW, A.: Gewebe der serösen Membranen; in: Handbuch der mikroskop. Anatomie des Menschen, von MÖLLENDORF. Bd. II, 1, S. 290 Berlin: Springer 1927

MÜLLER, C. F. und LEISERING, A. G. T.: Handbuch der vergl. Anatomie der Haussäugetiere. Wien 1885

NAVEZ, O. et LAHAYE, J.: La fénétration du médiastin chez le cheval et le chien. Ann. méd., Paris (1924)

OCHSNER, DE BAKEY and MURRAY: Absence of the mediastinum and congenital diaphragma hernia. Surgery, S. Louis, 74 (1939), 915

PALMGREEN, A.: Zur Anatomie und Entwicklungsgeschichte des Mittelfelles (Mediastinum) der Haussäugetiere. Zschr. Anat. 87 (1928), 367

RICHTER, H.: Einiges über die Entstehung und Bedeutung der serösen Räume im Säugetierkörper und über die Lappenbildung an gewissen Organen, mit einem Beitrag zur Erklärung der eigenartigen Pleuraverhältnisse beim Elephanten. Baum Festschrift (1929), 221-230.

SEIFERT, E.: Über den feineren Bau des Mediastinums. Ein Beitrag zur Frage des künstlichen Pneumothorax. Arch. klin. Chir., Berlin, 151 (1928) 237 - 249.

SISSON, S.: The anatomie of the domestic animals. Philadelphia and London 1914, 2. Edit.

SNYDER, J. W.: Studies in intrapleural tension. Arch. Surg., Chicago, (1924), 365-386

TSUNODA, H.: Experimentelle Studien über den Pneumothorax. Dtsch. Zschr. Chir. 207 (1927), 380-397

VEENENDAAL, H.: Bestaan normaal bij den hond communicaties tusschen de beide pleuraholten? Tschr. Diergeneesk. 14 (1925), 645-654

LE WALD, L. T.: (zitiert nach GROSS und LEWIS)

ANHANG

Abbildungen

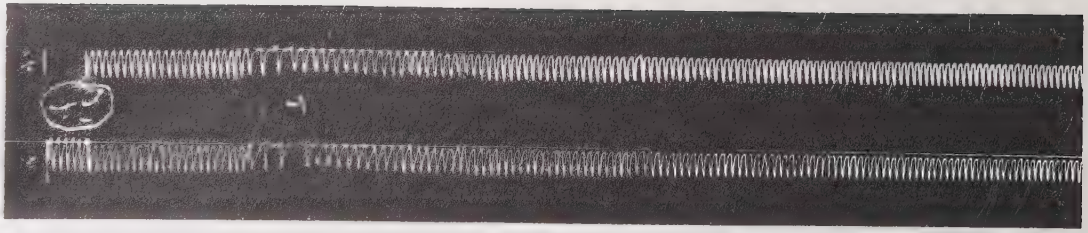

Abb. 1 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen während der Atmung bei der Ratte.

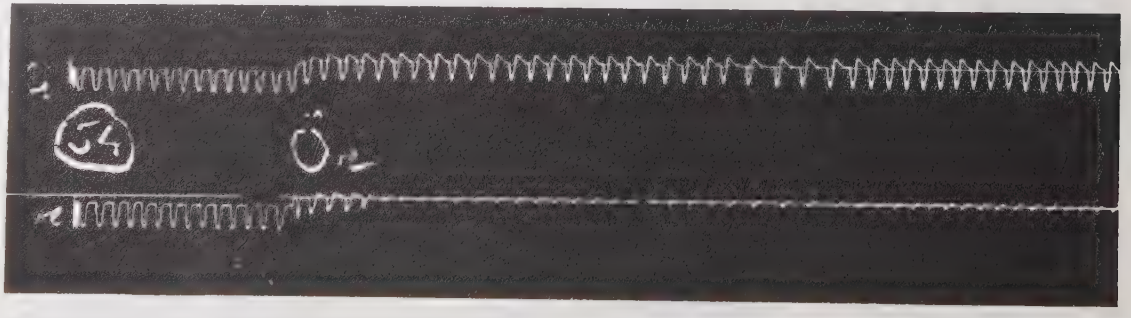

Abb. 2 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen bei einem offenen Punktionspneumothorax durch Öffnen eines Dreiwegehahnes bei der Ratte. Man sieht, wie vor der Öffnung des rechten Dreiwegehahnes (Öre) beide Kurven unterhalb der Nullinie liegen. Nach Öffnung liegt die linke Kurve inspiratorisch unterhalb, exspiratorisch zum Teil oberhalb der Nullinie.

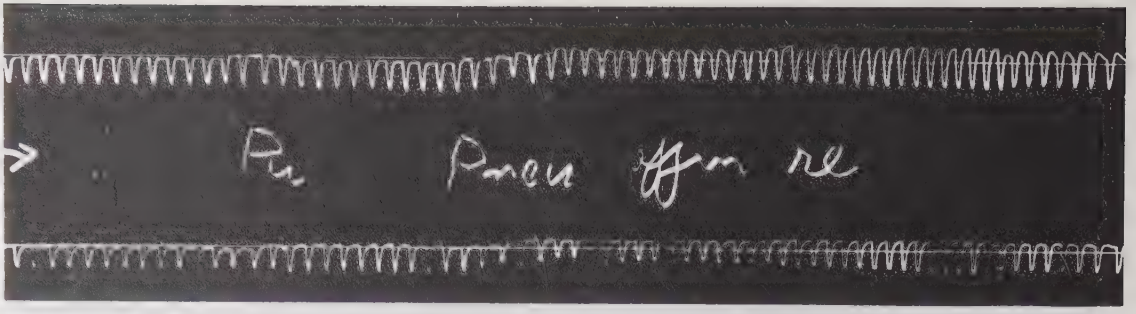

Abb. 3 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen bei einem Punktionspneumothorax durch zusätzliche Punktion mit einer dritten, kleineren Kanüle (Ratte). - Bei "Pu" wurde die Kanüle in die Thoraxwand eingeführt, bei "Pneu" wurde die rechte Pleurahöhle (untere Kurve) eröffnet.

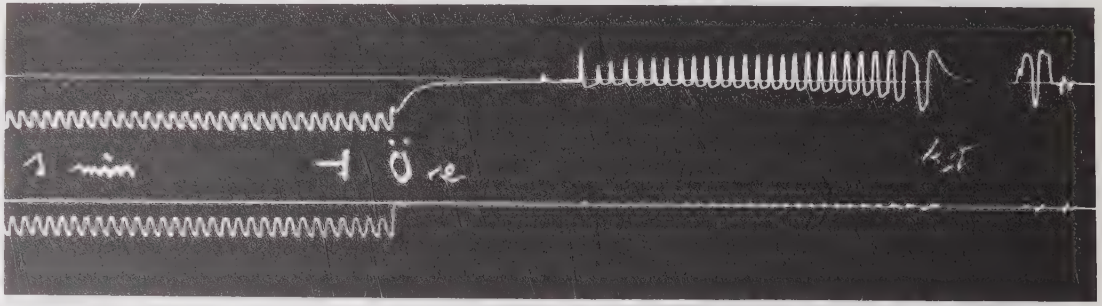

Abb. 4 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen bei einem Punktionspneumothorax durch Öffnen eines Dreiwegehahnes beim Meerschweinchen. Bei "Ö re" wurde der rechte Dreiwegehahn geöffnet (untere Kurve). Es kommt vorübergehend zum Atemstillstand, bei Wiederbeginn der Atmung liegt die Kurve der linken, kontralateralen Seite größtenteils oberhalb der Nullinie. "A st" = endgültiger Atemstillstand.

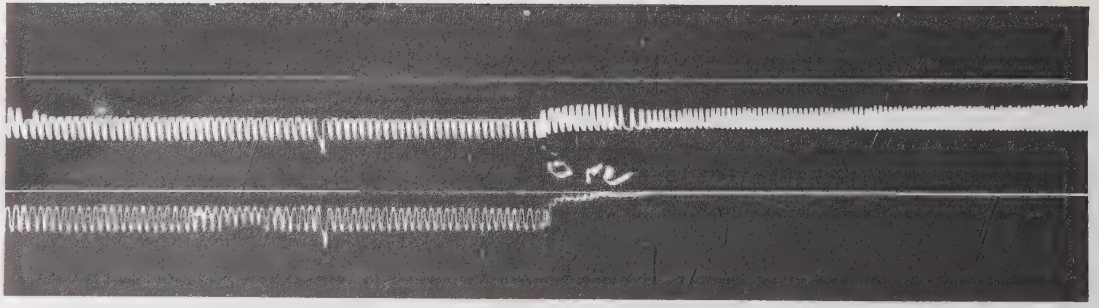

Abb. 5 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen bei einem offenen Punktionspneumothorax durch Öffnen eines Dreiwegehahnes beim Kaninchen. Das Niveau der linken Kurve liegt zwar nach Öffnung des rechten Dreiwegehahnes (Öre) höher, bleibt aber weit unterhalb der Nullinie.

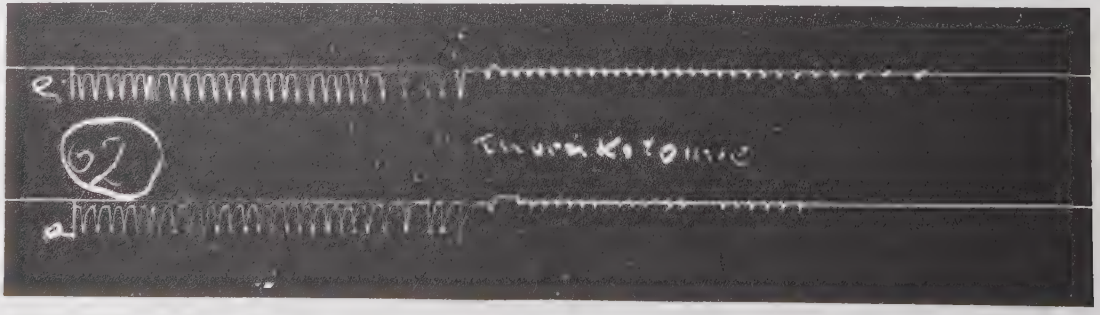

Abb. 6 Registrierung der intrathorakalen Druckschwankungen bei der rechtsseitigen Thorakotomie (Ratte). Ein Unterdruck kann sich nach Eröffnung der rechten Pleurahöhle (untere Kurve) in keiner der beiden Pleurahöhlen mehr entwickeln.

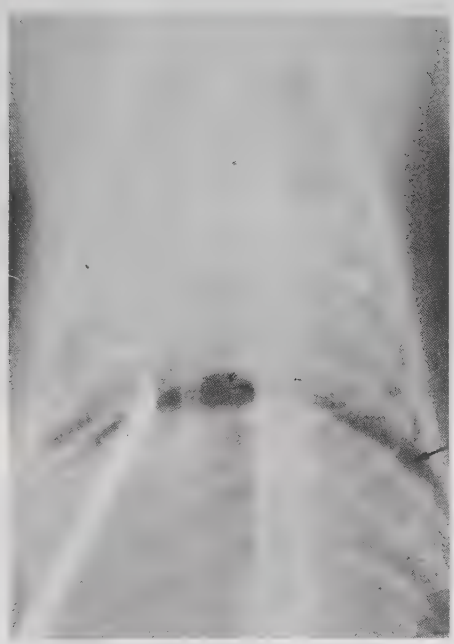

Abb. 7

Röntgenologischer Nachweis des kontralateralen Pneumothorax nach rechtsseitiger Punktion. Man sieht bei ◄— die beschriebene bogenförmige Linie von einem Phrenikokostalwinkel zum anderen ziehen. Die Transparenz der Lungen wurde durch Kontrastmittelinjektion in die Trachea vermindert.

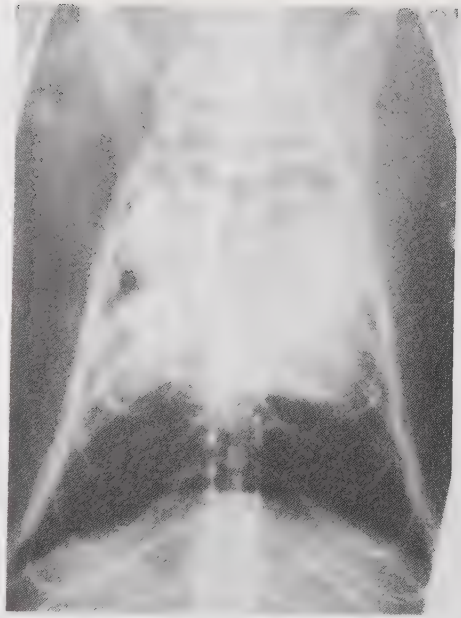

Abb. 8 Thorakotomie rechts. Massive Aufhellung auf beiden Seiten.

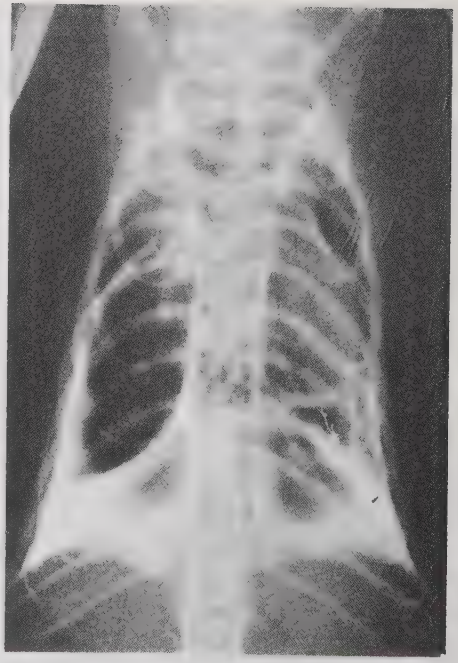

Abb. 9 Gleichmäßig über beide Pleurahöhlen verteiltes Urografin 60%, das in die rechte Pleurahöhle injiziert worden war.

Abb. 10

Abb. 11

A. p. Aufnahme und seitliche Aufnahme nach Injektion von Urografin 76 % (zwei verschiedene Tiere).
Man sieht, daß die auf der a. p. Aufnahme sichtbare bogenförmige Linie dem vorderen Phrenicocostalwinkel und damit dem auf der seitlichen Aufnahme unter dem Herzen liegenden Kontrastmittelfleck entspricht.

Herrn Professor Dr. C l e m e n s möchte ich für die Stellung des Themas und seine ständige Bereitschaft, mir mit Rat und Tat zur Seite zu stehen, recht herzlich danken.

Lebenslauf

Am 25. 3. 1935 wurde ich in Berlin geboren. Mein Vater, Martin Heilmann, ist Studienrat für Musik im Ruhestand, meine Mutter, Gerda Heilmann, geb. Melis, ist Krankenschwester.

Ich besuchte die Askanische Oberschule in Berlin-Tempelhof und studierte von 1954 bis 1960 an der Freien Universität Berlin Medizin. Meine Famulaturzeit verbrachte ich in Berlin und Rom. Nach bestandenem Staatsexamen im Februar 1960 war ich als Medizinalassistent an mehreren Berliner Krankenhäusern sowie in Itzehoe/Holstein und in Wolfsburg tätig. Nach meiner Approbation war ich zunächst für kurze Zeit Assistent einer internen Abteilung. Seit September 1962 bin ich am Strahleninstitut der Freien Universität im Westendkrankenhaus (Direktor: Professor Oeser) in der Ausbildung zum Facharzt für Radiologie.

Photodruck der Photo Copie GmbH.